

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

Durante el proyecto utilicé técnicas aprendidas en la licenciatura en Ingeniería Industrial las cuales sirvieron de base teórica para el desarrollo del proyecto. A continuación describiré cada una de estas técnicas y las razones para haberlas utilizado.

#### **3.1 Técnicas para analizar el trabajo**

La razón para haber usado una técnica para analizar el trabajo fue el de obtener información relevante que me sirviera de apoyo para la construcción de las distribuciones de probabilidad que el modelo de simulación utiliza.

En la mayoría de las organizaciones de manufactura existen trabajos y actividades que no cuentan con un patrón definido y no tienen intervalos de tiempo idénticos, lo cual es una barrera al tomar decisiones referentes a la mejora de estas actividades. Existen técnicas que determinan la cantidad de tiempo que toma cada tarea con la finalidad de guiar nuestros esfuerzos para mejorarlas y lograr beneficios por ello, entre las cuales según MUNDEL (1985) están: análisis de la actividad del trabajo y muestreo del trabajo.

La técnica de análisis de la actividad del trabajo consiste en registrar continuamente la secuencia del trabajo, requiere un considerable gasto de tiempo y se practica en periodos de tiempo extendidos. Se usa preferentemente cuando el patrón de actividades diario del objeto de estudio es muy similar. Con respecto a la técnica denominada muestreo del

trabajo MUNDEL (1985) dice que es una técnica que no registra la secuencia completa del trabajo pero puede ser hecha en muestras intermitentes a lo largo de la jornada de trabajo lo que no constituye una carga de trabajo demasiado pesada. En la mayoría de las ocasiones el muestro del trabajo es utilizado para cubrir períodos de tiempo extendidos y se usa en trabajos donde el patrón diario es muy distinto. Debido a las condiciones variables de la empresa y al corto tiempo disponible utilicé la técnica denominada muestreo del trabajo.

### ***3.1.1 Definición del muestreo de trabajo***

El muestreo del trabajo según NIEBEL (1976) es una técnica sustentada en su totalidad por las leyes de la probabilidad usada para investigar las proporciones del tiempo total a las que pertenecen las diferentes actividades que comprende una situación de trabajo.

El muestreo del trabajo de acuerdo a HEINALD y RICHARDSON (1957) consiste en un gran número de observaciones tomadas en diversos intervalos de tiempo. Al tomarlas el estado o condición del objeto de estudio es registrado y clasificado en categorías predefinidas en las que se puede encontrar. De la proporción de observaciones en cada categoría las inferencias se crean concernientes a la actividad total del trabajo que esta bajo nuestro estudio.

Los resultados de la técnica son efectivos para determinar utilizaciones de las máquinas, establecer estándares de producción, etc. Es una técnica fácil de utilizar, muestra información valiosa en corto tiempo y es barata en su aplicación. La técnica de muestreo del trabajo presenta las siguientes ventajas según NIEBEL (1976):

1. No requiere observación continua por el analista en un largo periodo de tiempo.
2. El tiempo para administrar la técnica es corto.
3. Las horas hombre que gasta el analista son usualmente muchas menos que otras técnicas.
4. El objeto de estudio (operador, máquina, etc.) no es sujeto a largos periodos de observación.
5. Las operaciones del equipo pueden ser analizadas por un solo analista.

### ***3.1.2 Etapas del muestreo del trabajo***

De acuerdo a MUNDEL (1985) la técnica de muestreo del trabajo está dividida en etapas. *La primera etapa* es la preparación de una lista de las unidades de trabajo (objetos de estudio) que serán identificados en el muestreo además de información adicional que requiera cada una de estas unidades de trabajo. Dentro de la información adicional se encuentra la identificación de los posibles estados en los que el objeto de estudio se encuentre al momento de tomar la muestra. Cada una de las unidades de trabajo y sus estados serán descritos a detalle en el Capítulo 4.

*La segunda etapa* es la determinación del número de muestras a tomar (N). NIEBEL (1976) dice que para determinar el número de muestras que se tomarán hay que hacer un estimado preliminar de los objetos de estudio, el cual puede ser hecho a través de distintas formas entre las que se encuentran: analizar información histórica de las unidades de trabajo y hacer un muestreo del trabajo preliminar que consista en la toma de muestras durante un corto período de tiempo (2 o 3 días).

Si los datos históricos no son tan recientes y la persona que hará el estudio preliminar considera que estos no son tan confiables lo recomendable es hacer un muestreo del trabajo preliminar. En este proyecto decidí hacer un muestreo preliminar para tener una mayor precisión en el número de muestras a tomar para el muestreo del trabajo definitivo.

*La tercera etapa* es la planeación de la duración del muestreo que será descrita posteriormente en éste capítulo.

*La cuarta etapa* es seleccionar una manera de tomar las observaciones, en este capítulo se describen a detalle cada una de las técnicas propuestas por MUNDEL (1985) para desarrollar el plan de observaciones que se harán en el estudio. Entre la tercera y cuarta etapa se creó el formato de muestreo, el cual debe de ser adecuado para las observaciones a tomar y que para este proyecto podemos consultar en el ANEXO 1.

*La quinta etapa* consiste en tomar las observaciones de acuerdo al método seleccionado. Al finalizar cada uno de los pasos para hacer un muestreo tendremos información valiosa en el comportamiento de las unidades de trabajo a estudiar como la eficiencia de estas unidades, distribuciones de probabilidad de cada uno de sus estados posibles, etc.

**a) Muestreo del Trabajo Preliminar**

Un muestreo del trabajo preliminar tiene como finalidad determinar el tamaño ideal de muestras que se necesitan para hacer un estudio confiable. Consiste en hacer un

muestreo de los diferentes estados que el objeto de estudio puede presentar durante un corto período de tiempo.

Después del muestreo preliminar tenemos información valiosa acerca de las proporciones de tiempo en la que se encuentran cada uno de los objetos de estudio de acuerdo a los diferentes estados definidos. El siguiente paso es determinar el nivel de confianza y el nivel de error con el que queremos hacer nuestro muestreo definitivo y así obtener el tamaño ideal de muestra.

El tamaño de muestra ideal considerando que tenemos la proporción de tiempo de cada uno de los estados, el nivel de confianza y el error se encuentra en diferentes libros estadísticos de la siguiente forma:

$$N = \frac{z^2 \hat{p}(1 - \hat{p})}{E^2}$$

Donde:

$N$  = Número total de observaciones requeridas

$E$  = Error de estimación

$\hat{p}$  = Porcentaje de eventos de un estado para un objeto observado

$z$  = Valor crítico para tener un nivel de confianza

Después de obtener el tamaño de muestra que necesitaremos para los requerimientos de nuestro estudio final; el siguiente paso es la planeación de la duración del muestreo.

b) Planeación de la duración del muestreo

La planeación de la duración del muestreo se basa en la cantidad de muestras a tomar y puede ser dividida de dos diferentes maneras: decidir el número de observaciones a tomar por día o decidir los días que nos llevará tomar el total de las observaciones. En ambos casos la opción que elijamos es correcta y se puede elegir la que se prefiera de acuerdo a la finalidad del proyecto y a las restricciones que se tengan.

c) Toma de observaciones

La toma de observaciones debe de seguir un patrón específico aleatorizado para garantizar la confiabilidad de la información, de acuerdo con MUNDEL (1985) existen 5 formas de tomar las observaciones en un muestreo del trabajo:

1.- En la primera forma la primera hora de la jornada deberá identificarse con el número 1, la segunda hora con el número 2, etc. A continuación se deberá hacer una tabla aleatorizada de números de 3 dígitos, en los que la primera cifra representará la hora y las 2 restantes los minutos en que se deberá hacer la observación, por ejemplo si la jornada de trabajo dura 8 horas y comienza a las 8:00 a.m.:

<b>Número Aleatorio</b>	<b>Interpretación</b>
456	11:56 a.m.
235	09:35 a.m.
918	Hora Imposible, descartar
689	Minuto Imposible, descartar

**Tabla 3.1** Tabla de observaciones aleatorizadas.

2.- La segunda forma es obtener números aleatorizados de 2 dígitos que serán el minuto en el que se debe de tomar la observación y la hora de toma de observación comenzará desde la primera hora de la jornada de trabajo, por ejemplo si la jornada comienza a las 8:00 a.m.:

<b>Número Aleatorio</b>	<b>Interpretación</b>
23	08:23 a.m.
45	08:45 a.m.
76	Minuto Imposible, descartar
20	09:20 a.m.

Tabla 3.2 Tabla de observaciones aleatorizadas 2.

3.- La tercera forma se usa cuando un gran número de observaciones es requerido para el estudio. El procedimiento consiste en que una persona vaya constantemente al área de observación en una ruta y haciendo constantemente observaciones.

4.- La cuarta forma es a través del uso de tarjetas que contengan cada uno de los minutos de la jornada de trabajo (8:01 a.m., 8:02 a.m., etc.) y colocar todas estas tarjetas ordenadas por el tiempo en una caja, posteriormente seleccionar al azar el número de observaciones que se requieren hacer durante la jornada de trabajo y proceder a hacer el estudio.

5.- La quinta forma es a través de un dispositivo electrónico que emita una luz o un sonido al azar durante la jornada de trabajo y se procede a tomar la observación en cuanto lo indique el dispositivo.

Debido al número de unidades de trabajo a muestrear, la cantidad de observaciones que se requieren (obtenidas en el muestreo piloto) y al tiempo destinado al muestreo, decidí utilizar la técnica número 3 de muestreo, en la cual se hacen observaciones continuamente a través de una ruta y se toman observaciones constantemente mientras se sigue la ruta.

En este proyecto la ruta de muestreo contempló todas las máquinas del departamento Q0 y tuvo una duración promedio de 10 minutos; las rutas se hicieron una tras otra durante cada turno de 8 horas muestreado; sin embargo debido al cansancio, preguntas de los operadores, hora de la comida, entre otras cosas, se tomaron en promedio 30 muestras por turno. Cabe señalar que se muestrearon los 3 turnos durante distintos días. En el Capítulo 4 está especificado a detalle el desarrollo del muestreo preliminar así como el muestreo final, los niveles de confianza y error seleccionados, así como el tamaño de muestra arrojado.

### **3.2 Prueba de hipótesis**

Según MENDENHALL y SINCICH (1995) una prueba de hipótesis consiste en tomar decisiones acerca de valores específicos de los parámetros de la población. Una prueba de hipótesis es una técnica de la inferencia estadística (algunos autores la llaman prueba de significación) la cual consiste en la comparación de las medias de diferentes grupos de datos. De acuerdo a MONTGOMERY (2004) esta técnica utiliza una hipótesis estadística la cual es un enunciado o afirmación acerca de los parámetros de una distribución de probabilidad o de los parámetros de un modelo.

La finalidad de haber utilizado esta técnica es comparar las medias de la información obtenida por el muestreo contra la media de la información que la empresa posee. De esta manera he constatado la validez y confiabilidad del muestreo contra información real proporcionada por la empresa. La prueba de hipótesis se hizo en el programa Minitab.



### 3.3 Simulación

En la actualidad existen diferentes lenguajes usados para diseñar una simulación, entre los que se encuentran: GPSS, SIMSCRIPT, SLAM y SIMAN. El software que he utilizado es Rockwell Arena 10.0<sup>TM</sup> utiliza el lenguaje de programación SIMAN. Este software es una restricción de la empresa debido a la estandarización de sus dispositivos electrónicos a la marca Rockwell que es la misma marca que produce Arena y que tiene como finalidad continuar con el proyecto del control supervisorio. Algunas de las características de Rockwell Arena 10.0<sup>TM</sup> es que además de ser un software confiable puede calcular costos, tiempos y otras informaciones de interés.

La simulación fue usada en este proyecto con los siguientes objetivos:

**1.-** Encontrar el cuello de botella del proceso del departamento Q0: La forma para encontrar el cuello de botella en primer lugar fue a través de obtener información de las órdenes de trabajo representativas de un mes para ser usada en el modelo (estas órdenes fueron obtenidas por el promedio mensual de órdenes de trabajo de Enero a Junio de 2006 y la información fue proporcionada por la empresa). Posteriormente se ingresó esta información a la hoja de lectura, el modelo hizo la lectura correspondiente y de esta manera se obtuvo el tiempo mínimo que se necesita para producir las órdenes de trabajo representativas de un mes. Al tener este tiempo se corrió nuevamente el modelo con el tiempo obtenido y fueron arrojadas las utilidades de los recursos, de ahí se identificó que máquinas son el cuello de botella del proceso.

**2.-** Optimizar los recursos con los que cuenta la empresa respetando las restricciones de capacidad de la máquinas y las que fueron impuestas por la empresa a través del optimizador de Arena llamado Optquest: En primer lugar se generó una función objetivo que puede ser maximizar el producto terminado o minimizar el tiempo total de proceso; debido a que el sistema procesa toda la producción en un tiempo menor al que tiene un mes, decidí usar como función objetivo minimizar el tiempo total de proceso. En segundo lugar determinar las restricciones existentes, posteriormente analizar diversos escenarios optimizando la función objetivo y los recursos disponibles para generar propuestas de mejora.

**3.-** Simular el plan de producción para un número de órdenes ingresadas: Los tiempos de proceso de inicio y fin fueron obtenidos después de haber llenado el modelo con la información de la hoja de lectura y de las distribuciones de probabilidad que se obtuvieron; el modelo hace una corrida y registra los tiempos de inicio y fin de cada proceso con una variable del software Arena llamada “tnow”. Esta variable es escrita en las hojas de salida de Excel y muestra los tiempos de inicio y final de cada proceso.

### ***3.3.1 Conceptos de Rockwell Arena 10.0<sup>TM</sup>***

A continuación presento algunos conceptos que hay que definir del software para entender el desarrollo del modelo:

***Entidades:*** Las Entidades son las unidades que entran al modelo, es decir, es la parte dinámica de la simulación, es lo que se mueve, cambia de estado, es procesado, etc. dentro

de nuestro modelo. Las entidades pueden ser creadas por el modelo o pueden ser introducidas por el usuario. Las unidades en mi modelo de simulación son kilogramos de goma que se van transformando a lo largo del proceso desde la materia prima que entra al proceso M hasta llegar a la pastilla terminada.

**Atributos:** Los atributos son las características que hacen individuales a cada una de las entidades; son adheridos a las entidades y varían dependiendo de la entidad, es decir, todas las entidades tendrán los mismos atributos pero con valores distintos. Uno de los atributos de mi modelo es la secuencia que sigue cada una de las entidades, esto significa que todas las entidades tienen una ruta, sin embargo cada entidad sigue una ruta distinta a lo largo del proceso.

**Módulos:** Los Módulos representan a cada una de las actividades que tiene el proceso, entre las que se encuentran los procesos básicos, avanzados, de flujo, transferencias de las entidades de un lugar a otro, entre otras cosas. A cada uno de estos módulos se le agrega la información de las distribuciones de probabilidad de su desempeño, así de los recursos disponibles con los que cada módulo cuenta para hacer su trabajo. Los módulos que utilicé en el modelo fueron: Create, Assign, Process, Route, Seize, Delay, Release, Hold, Station, Record, Decide, Batch, Separate, Dispose, entre otros.

**Recursos:** Son las máquinas, sus operadores. Las entidades hacen uso de los recursos y cuando estas terminan de utilizar los recursos los liberan para que puedan ser utilizados por otras entidades. En mi modelo los recursos son cada uno de las máquinas entre las que se encuentran: DU, B, T, entre otras.

**Variables:** Son unidades de información que reflejan las características del sistema, para el software existen 2 tipos de variables: las que son creadas automáticamente y las que el usuario define. Algunos ejemplos de variables son: costo que genera el sistema y tiempo que un operador dedica a hacer alguna tarea específica.

**Eventos:** Es algo que ocurre en algún momento durante la simulación y puede cambiar el estado de los atributos, variables, etc. Algunos ejemplos de eventos son las llegadas de nuevas entidades al sistema, o cuando alguna entidad deja el sistema.

### 3.3.2 Modelado

El software Rockwell Arena 10.0<sup>TM</sup> utiliza un modelo de simulación para representar al departamento Q0 y sus funciones. Modelar significa recrear la situación que acontece en el lugar donde se está simulando. En este caso la modelación del departamento incluye el proceso productivo de la goma Q0 (la que será nuestra entidad) y su secuencia a través de todo el departamento, además sus respectivos tiempos de proceso (atributos) en cada estación (módulos), el funcionamiento de cada una de las estaciones de trabajo que recorre a su paso y los operadores de estas estaciones (recursos). El desarrollo del modelo de simulación será explicado a detalle en el Capítulo 4.

La principal limitante de la modelación de los procesos es que los sistemas simulados son afectados por entradas incontrolables y aleatorias lo que genera resultados aleatorios. Sin embargo, a pesar de que los resultados pueden ser inciertos, sí se pueden hacer suposiciones del sistema que reducirán la aleatoriedad de estos. Debido a la vasta

información con la que se cuenta del departamento Q0, la simulación nos proporcionara una aproximación del comportamiento del proceso.

### 3.3.3 *Optimizador Optquest*

El software Rockwell Arena 10.0<sup>TM</sup> cuenta con una función de gran utilidad que es el optimizador Optquest el cual sirve mejorar la capacidad de análisis del software permitiéndome buscar soluciones óptimas en el modelo de simulación.

Los pasos para usar el Optquest son:

1. Generación de una función objetivo
2. Determinación de las restricciones a las que se va a someter la optimización, las cuales se refieren por ejemplo a la máxima velocidad a la que pueden trabajar las máquinas y a otras dictadas por la empresa
3. Elegir las variables que serán modificadas en un rango que fue dictado por la empresa. Las variables que fueron probadas en diferentes niveles fueron dictaminadas por la empresa, la cual sugirió que solamente esas variables pudieran modificarse en rangos establecidos también por la empresa. Las variables que la empresa me permitió modificar en el Optquest fueron: La velocidad de las máquinas T, la eficiencia de las máquinas B y aumentar recursos (máquinas) B. Cabe señalar que el aumento de velocidad y eficiencia de las máquinas T y B se hizo en rangos especificados por la empresa y que fueran factibles, además consideré correr el Optquest siempre

y cuando el aumento de velocidad o eficiencia no excediera el 100% de la capacidad de la máquina, lo cual sería infactible.

Como comenté el rango de modificación de las variables para optimizar la función objetivo fue decisión de la empresa de acuerdo a sus propias restricciones y será mostrado a detalle en el Capítulo 4.

### **3.3.4 *Modulo Read/Write***

Dentro del modelo de Simulación hay especialmente un módulo que pertenece a los procesos avanzados de Arena y que se llama ReadWrite el cual tiene la función de leer información desde un archivo o desde el teclado y asignar valores dentro del modelo a una lista de variables o atributos (u otra expresión). Éste módulo es también usado para escribir información a un dispositivo externo como una pantalla o un archivo. Para que éste módulo pueda funcionar debe estar especificado en Arena el nombre del archivo de donde se quiere leer la información y el archivo donde se escribirán los resultados, estos archivos deben existir en la misma computadora donde se esta corriendo el modelo. He utilizado este módulo dentro de mi modelo con la finalidad de que gran parte de la información perteneciente al modelo sea ingresada por el usuario a través de una hoja de cálculo (Microsoft Excel<sup>TM</sup>) lo cual le da una gran flexibilidad y potencia al modelo.

Entre la información que podrá ser ingresada al modelo a través de Microsoft Excel<sup>TM</sup> se encuentran: Volumen a producir, SKU's a producir, tiempos de proceso de cada máquina, tamaño de lotes, entre otras cosas. De esta manera Rockwell Arena 10.0<sup>TM</sup> leerá

la información que el usuario ingrese y arrojará información de importancia como: la secuencia de trabajo que debe seguir cada producto, el tiempo total de proceso, el programa de producción a seguir, entre otras cosas.

### **3.4 Creación y análisis de factibilidad de propuestas**

Para la generación de las propuestas de mejora que ha pedido la empresa como requisito, en primer lugar utilicé el optimizador Optquest de Arena para hacer estas propuestas y sugerencias basándome en el modelo de simulación, el tipo de propuestas generadas a través de este medio fueron relacionadas con la optimización de los recursos disponibles, eliminación de cuellos de botella, variación de las velocidades de las máquinas en cuanto fuera posible de acuerdo a información proporcionada por la empresa y considerar en algún caso adquirir uno o varios recursos extra a los que existen actualmente.

La validación de los beneficios de este tipo de propuestas la hice con el optimizador Optquest para determinar cuales serían los beneficios si aplicamos todas las propuestas de mejora al mismo tiempo. Optquest además de ser un optimizador permite ingresar varias propuestas de mejora a la vez con la finalidad de obtener el beneficio en la función objetivo descrita sin desbalancear el sistema si no aplicáramos todas las propuestas de mejora al mismo tiempo.

Otra de las peticiones de la empresa fue mi aportación de propuestas generales y sugerencias útiles para eliminar los desperdicios de los que me percatara durante mi estancia en la empresa; para encontrar todos los posibles desperdicios utilicé la metodología

“5M + Q + S” que será descrita en el Capítulo 4, posteriormente gracias a una lluvia de ideas de varias personas involucradas en el proceso generé propuestas y sugerencias de esta índole. La validación de este tipo de propuestas no se hace con el optimizador Optquest debido a que estas propuestas no intervienen directamente en la optimización de nuestra función objetivo que es minimizar el tiempo total de proceso.

El departamento de Finanzas se encarga de validar la factibilidad financiera de las propuestas de mejora, este análisis consiste en verificar la viabilidad financiera de un proyecto tomando en cuenta el valor tiempo del dinero; los métodos más comunes para este análisis son: “Tasa Interna de Retorno (TIR)” y “Valor Presente Neto (VPN)”.

Para que sea apoyada una propuesta su inversión debe recuperarse en 1 año y su tasa de retorno debe ser mayor a un indicador que maneja la empresa llamado “WACC” (Weighted Averaged Cost of Capital) que de acuerdo al control financiero de la empresa esta fijado en 13%.